

Ⅲ - 332

個別要素法による地下空洞建設時の岩盤挙動評価の検討

大成建設(株)	○羽出山吉裕
大成建設(株)	大津 宏康
日本地下石油備蓄(株)	岡本 明夫
(株)篠塚研究所	大矢 敏雄

1.はじめに

近年、エネルギー施設（地下揚水発電所・地下原子力発電所）、貯蔵施設（LPG地下貯蔵）の地下立地は社会的要求を受け、その成立性に関する様々な研究が実施されている。しかし、このような大規模地下空洞の建設時には岩盤中に存在する不連続面のために、従来の連続体解析手法（FEM）では表現できない不連続体的な挙動が確認されている。著者らは、菊間地下備蓄基地の水封式岩盤タンク空洞を対象として、不連続面を考慮した等価連続体解析、個別要素法（DEM）を用いた弾性解析によって岩盤の不連続体的挙動の評価を試みたが、不連続面の破壊を評価していなかったために、これを十分に表現することはできていない¹⁾。本研究では、不連続面のせん断破壊を考慮したDEM解析を実施し、地下空洞建設時の不連続体的な岩盤挙動の評価を試みる。

2. 菊間地下備蓄基地の概要²⁾

菊間地下備蓄基地（愛媛県越智郡菊間町）は、7本の岩盤タンク（長さ230～448m）と水封トンネルおよび作業トンネルから構成されている。岩盤タンクの形状は、幅20.5m、高さ30mの砲弾型断面で、その土被りは80～100m程度である。

3. 建設時の岩盤変形挙動

岩盤タンク建設時には、内空変位、天端沈下、地中変位、ロックボルト軸力が計測された。その結果、TK-101Bの計測点（TD.155m）では、内空変位量が最大20mmと他の計測点と比較して大きく、地中変位計測でも空洞左右で変形モードが異なり、特に、測線E7では変位分布が空洞壁面から4mの位置で不連続となっている。（図-1）

本研究では、TK-101B：TD155mを検討対象とした。

4. 解析

(1) 岩盤モデルの作成

本研究では、不連続面を大規模不連続面（トレース長さ100m程度）、中規模不連続面（トレース長さ20m程度）の2つに分類し、大規模不連続面を決定論的に、中規模不連続面をクラックテンソル量を用いて岩盤モデルに評価する手法を用いた。境界条件と一緒に、図-2に示す。

(2) 解析物性値

①岩盤基質部 原位置試験および室内試験の結果から、変形係数 $D=6500\text{MPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.25$ とした。

②不連続面

・せん断剛性 Barton³⁾が提案しているせん断剛性の算定式を用いてせん断剛性 $k_s \approx 10\text{MPa/m}$ とした。

破壊基準はMohr-Coulombを採用し、 $\phi=32.4^\circ$ $c=0.0\text{MPa}$ とした。

・垂直剛性 不連続面の垂直方向変位はせん断方向変位と比較してほとんど生じないものと仮定し、

垂直剛性 $k_n \approx 10000\text{MPa/m}$ とした。

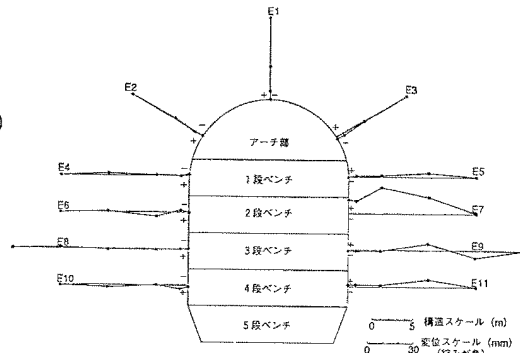


図-1 地中変位計測結果（TK-101B:TD.155m）

5. 解析結果および考察

地中変位分布のモードを見るために、地中変位計測（E7）で得た変位量を空洞壁面変位で無次元したものを図-3に示す。また、図中には、既往の研究⁹で実施した等価連続体解析結果も同時に示す。

計測結果は、空洞壁面から1.0～4.0mの間で変位分布が不連続となっている。等価連続体解析では、測線間で連続的な変位分布が得られている。DEMでは、空洞壁面から1.0～4.0m間で変位分布が不連続となっている。

これから、等価連続体解析と比較してDEMでは不連続面を評価することによって不連続的な変位分布を表現することが可能である。しかし、各計測点での変位量が、計測では空洞壁面から4.0m位置で最大となるのに対して、解析値では空洞壁面（0.0m）で最大となっており、両者で変位分布のモードが異なっている。

計測値のように空洞壁面の変位が岩盤内の変位よりも小さいといった現象が生じる要因の一つに、空洞壁面で形成された岩盤ブロックの回転運動が考えられる。図-4に示したように、計測の不動点が回転運動する岩盤ブロックの外に位置し、岩盤空洞壁面の計測点周辺を中心としてブロックが回転した場合、空洞壁面との相対変位は殆ど生じず、岩盤内で相対変位が計測される。このような、岩盤ブロックの回転運動を表現するためには、不連続面の開口～閉塞といった非線形挙動を考慮することが必要である。

5. おわりに

今回の研究では、岩盤不連続面をDEM解析上で評価することによって、FEMでは表現出来なかった岩盤変位の不連続的な分布を表現することができた。しかしながら、原位置岩盤で計測された変位分布のモードを表現することはできなかった。この原因として、今回の解析では、不連続面の引張破壊を考慮していないことやモデル化した不連続面の位置や方向が実岩盤中の不連続面とは異なっていたためと考えられる。今後は、不連続面の開口～閉塞といった非線形挙動を表現できる解析（UDECB-BB⁹）により、岩盤の不連続体的な挙動の評価を試みる予定である。

参考文献

- 1) 羽田山、大津、大矢、岡本（1995）不連続体解析による原位置岩盤の安定性評価の検討 第26回 岩盤力学に関するシンポジウム PP.436-440
- 2) 岡本、有元、山本、大津（1993）菊間地下石油備蓄基地建設工事での空洞掘削に伴う地下水挙動に関する検討 土木学会論文報告集 No.480/6-21, pp.33-42
- 3) Barton, N. and Choubey, V. (1977) The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics, 10, 1-54.
- 4) Barton, N. and Chrysanthakis, P. (1992) Predicting Performance of the 62m Span Ice Hockey Cavern in Gjøvik Norway. Fractured and Jointed Rock Masses. LAKE TAHOE, CALIFORNIA Vol.3/3, pp624-631

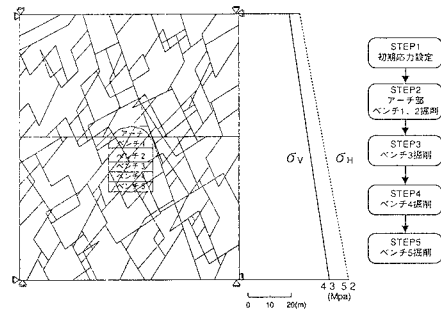


図-2 解析モデル及び境界条件

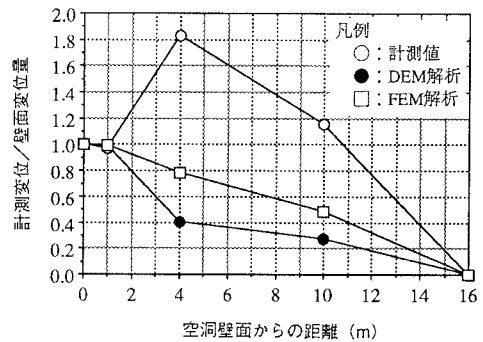


図-3 地中変位分布モード図

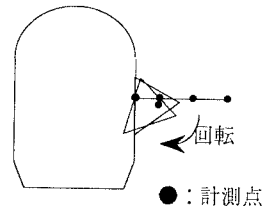


図-4 空洞近傍での岩盤ブロックの回転